



TITLE:

# オーロラと太陽地球系の電磁場変動(第3回 電磁場と生体への影響-分子機構と総合評価の検討-)

AUTHOR(S):

上出, 洋介

---

CITATION:

上出, 洋介. オーロラと太陽地球系の電磁場変動(第3回 電磁場と生体への影響-分子機構と総合評価の検討-). 物性研究 2006, 86(5): 659-676

ISSUE DATE:

2006-08-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/110567>

RIGHT:

## オーロラと太陽地球系の電磁場変動

上出 洋介

名古屋大学太陽地球環境研究所

1. はじめに – オーロラと太陽地球系
2. 宇宙と地球の境界がオーロラ
  2. 1. プラズマと中性大気
  2. 2. 大気温度の高度分布
3. 太陽活動とオーロラ
4. オーロラは宇宙天気の流れ
  4. 1. 宇宙天気とは
  4. 2. 宇宙天気とオーロラ
5. オーロラベルトのサイズ
  5. 1. オーロラベルトの拡大
  5. 2. 1000年後のオーロラベルト
6. 他の惑星でのオーロラ
7. 太陽活動と地球大気環境
8. 地球磁場を使っている動物
9. おわりに

### 1. はじめに – オーロラと太陽地球系

オーロラといえば、“神秘、カーテンのゆらめき、妖しい美しさ、極寒...”を連想する。本稿では、極地の空に音もなく華麗に舞うあのオーロラが、太陽-地球系（システム）で発生している様々な電磁／プラズマ現象の一つの流れであり、人工衛星を使って急速に発達したこの30年間のオーロラ科学から、どのようなメッセージを受取ることができるかを考えてみたい。オーロラの研究を続ければ続けるほど、私たち生命は、この地球上で“ぎりぎりで生きている”ということを実感するからである。

オーロラのふるさと太陽である。しかし、太陽は昼間側にあるのに、なぜオーロラは太陽と反対側の真夜中付近で最も活発なのかという基本的な疑問に答えることができないばかりか、なぜオーロラは数時間に1度爆発的に活発になる（オーロラ・ブレイクアップという）のかについて、満足する答はまだ得られていない。

かなり誇張しているが、太陽と地球の関係は図1のようにになっていることが、最近の研究から分かってきた。このイラストは、国際学会 International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) のホームページで採用されている。誇張しているというのは、この図では地球が大きく描かれすぎていることであるが、地球は太陽大気の中にできた小さな空洞の中にあり、そして太陽エネルギーの微妙な変動で地球システムが働いているということは事実である。オーロラの発生も、そうした地球システム変動の一

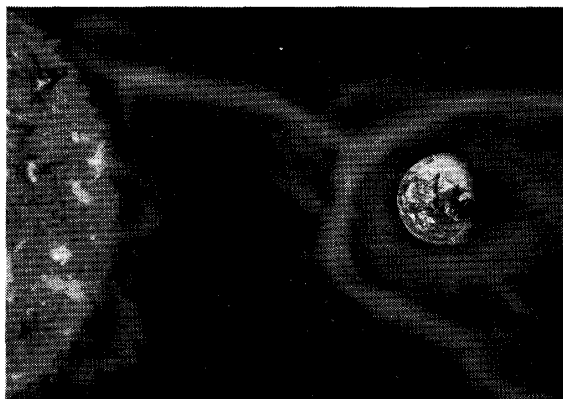


図1 地球は太陽大気の中にある (IAGA提供)。地球が大気と磁場を持っているため、地球圏が太陽風プラズマの直撃を受けていることに、私たちはふだん気がついていない。この大気と磁場があるから、地球にはオーロラが出現する。

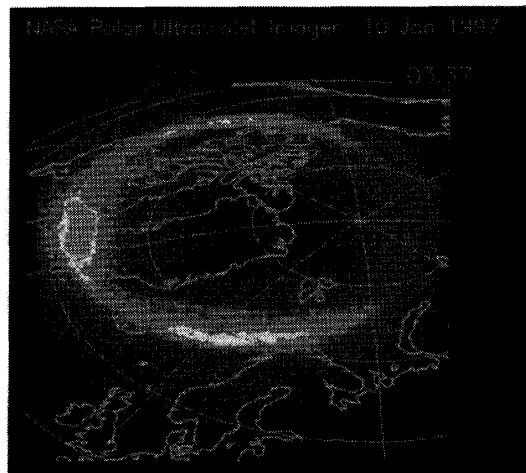


図2 NASAの人工衛星Polarが捉えた、オーロラ・ブレイクアップ (グリーンランド南端付近で発生) の瞬間。

つの「表れ」にすぎない。太陽風が太陽から持ち出す磁場により、しかもそのちょっとした向きの変化によって、オーロラが爆発的に発達することも分かってきた (図2)。

## 2. 宇宙と地球の境界がオーロラ

### 2. 1. プラズマと中性大気

宇宙と地球の境界はどこか。私たちは日常、あまり深く意味を考えずに、地球とか宇宙とかという言葉を使っているが、いったい宇宙と地球の境はどのように定義するのかと、改めて問い直してみよう。スペースシャトルの飛行しているあたりは、宇宙遊泳 *space walk* とか言う言葉があるくらいだから、宇宙らしい。ではいったい何キロメートル上空からが宇宙なのだろう。実は、その境目でこそオーロラが起きているのである。それは偶然なのではなく、オーロラの発生には、宇宙の条件と地球の条件との両方が必要なために、必然的にそこで発生するということである。

「地球とは何か、宇宙とは何か」という疑問に対するもうひとつの見方は、地上の大気は電氣的に中性であるのに対して、宇宙はプラズマ、すなわち電離ガスでできているということもあげられる。この中性大気の「地球」と、プラズマの世界「宇宙」との、ちょうど境目でオーロラが光っている。この意味で、オーロラは、「宇宙で起きていることを地球人に映し出しているメッセージである」と言い換えることができるかもしれない。

### 2. 2. 大気温度の高度分布

図3は、大気温度が高度でどのように変わっていくかを示している。地上の温度が20度ぐらいであることを想定してこの図が描かれている。上空に行くと、断熱膨張のためだんだん温度が下がっていくことを、私たちは経験で知っている。たとえば、富士山の頂上へ行くと0度ぐらいに、そしてエベレストに登るとさらに寒くなる。しかし、この傾向はいつ

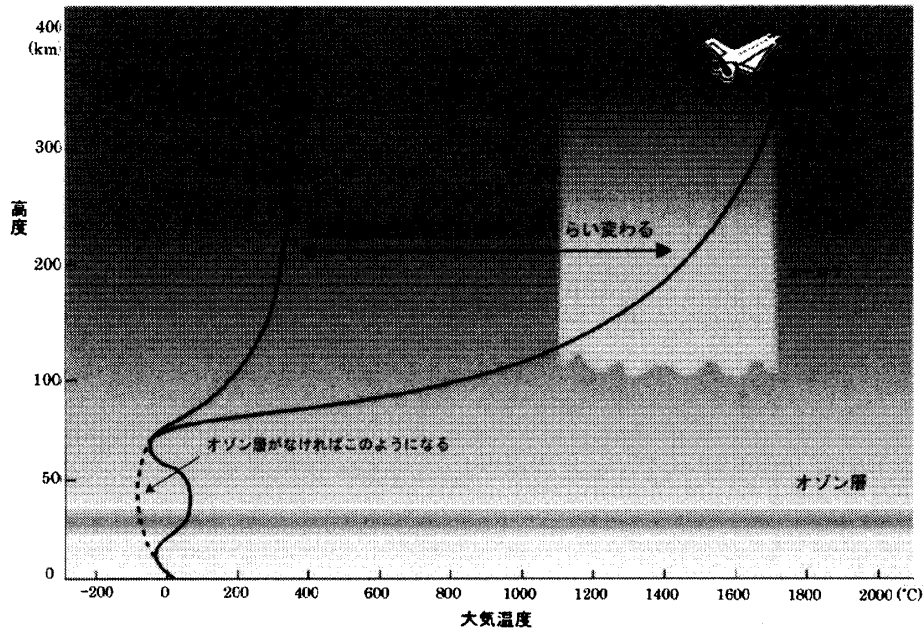


図3 大気温度は、地上からの高度でどう変わるか。80キロメートル以上（熱圏と呼ばれる）での温度は、太陽活動により大きく変動する。

までも続くはずはない。どこかからは確実に太陽に近づくわけで、温度は上がっていくことになる。

しかし、図3を見ると、現実の様相はそれほど簡単ではなく、もっと複雑であることが分かる。地上20-30キロメートルの高度にオゾン層があり、このオゾン層は、生命に有害な太陽の紫外線を吸収し、その吸収したエネルギーを周囲に放出している。そのため、地表から一度下がり続けた大気温度がその辺りでまた上昇し、温度構造が少々複雑になっているというわけである。結局、ジェット機が飛んでいるあたり（地上10キロメートル付近）が、温度が一番低いところということになる。

地上から80キロメートル以上上がると、太陽活動の影響で温度が大きく変動する。太陽活動が非常に高ければ、そのあたりの温度も高い（太陽活動とは、いまのところ黒点の数で定量化している）。図3には、太陽活動が高い時期と低い時期での温度を、2つの線で示してある（上出、1999）。

### 3. 太陽活動とオーロラ

オーロラのふるさとは太陽であるから、オーロラの発生や規模が太陽活動に影響されているというのは当り前のことかもしれない。しかし、図4aの統計図に示すように、太陽活動とオーロラ活動の関係は、それほど単純ではない（Cliver et al., 1996）。太陽活動が下降に入っているのに、オーロラ活動（図4aでは、オーロラ電流によって生ずる磁場変動で示している）は、もうひとつのピークを迎えることが分かる。図4bは今期太陽活動の状況である。この数年間は、太陽活動が下降期であるはずなのに、大規模な磁気嵐（矢印で示してある）が多く発生し、日本などの中低緯度からもオーロラが観測されている。

私たちは、何か大事なことを見のがしているのだろうか。この「矛盾」は、太陽活動と

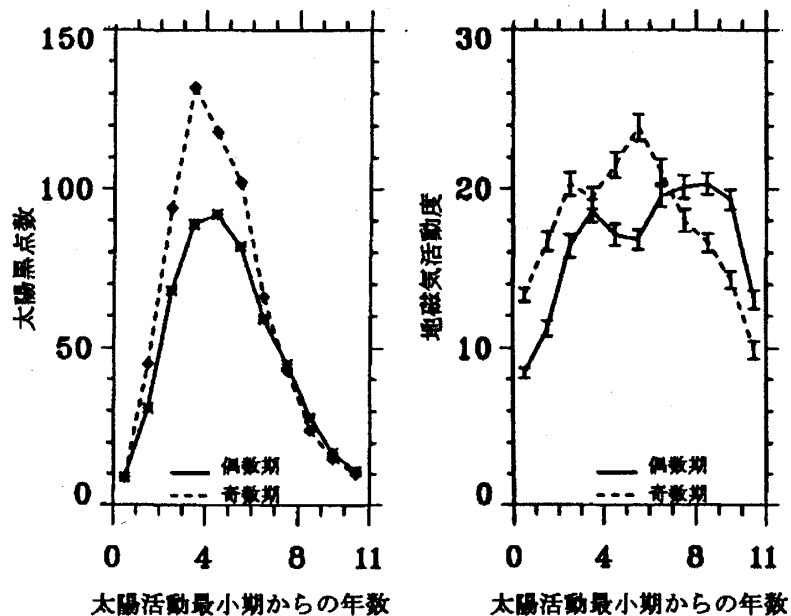


図 4a 太陽活動度（左側：黒点数で表わす）と対応する地磁気活動度（右側：aa 指数で表わす）の統計図。太陽活動の偶数期と奇数期に分けて示してある。いずれの期も、1つの太陽活動周期の中に、2つの地磁気活動ピークがあることが分かる。原図は Cliver et al. [1996]による。

して、(人間に見える) 太陽黒点数のみをもって代表させていることによるものと思われる。太陽全体では、黒点以外の活動、たとえばコロナホール、でオーロラ活動に重要な影響を与えるものがあるということを示唆している。

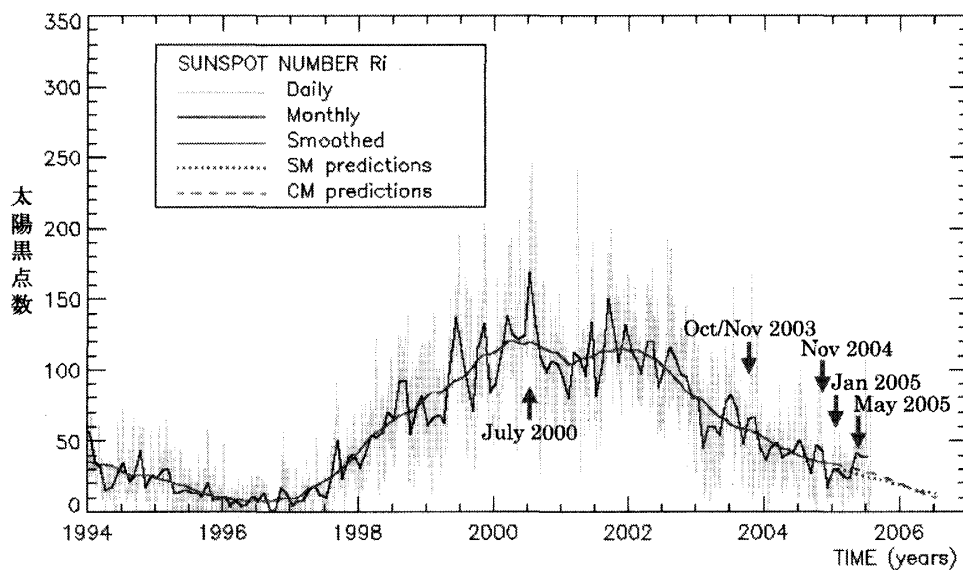


図 4b 太陽活動（黒点数で表わす）と主な磁気嵐。http://sidc.oma.be による。

#### 4. オーロラは宇宙天気の流れ

##### 4. 1. 宇宙天気とは

宇宙「天気」と言うからには、地上の天気と同じように、「いい天気、悪い天気」があるはずである。なぜ素直に「宇宙の状態」ではなく、「宇宙の天気」という用語を使うかといえば、その状態が社会生活、人間生活に影響を及ぼすことを強調したいからである(Kamide, 2001)。

宇宙の「悪い」天気が人間の生活、社会／経済に与えた事例は数多くある。たとえば太陽活動が急に活発になり、航空管制室でトラブル、つまり飛行機との交信が断続的に何十分間も乱れたこと。いわゆるデリンジャー現象と呼ばれている電離層の異常現象である。太陽からのX線の突発的増大で、短波通信に擾乱が生じたのが原因で、このような事態が予想されるときには、航空機が高緯度を飛ばさないような命令が出される。

人工衛星の計器トラブルも多い。人工衛星にこのようなトラブルが発生すると、社会／経済に影響を及ぼすことになる。アメリカやカナダのように広い国では、東海岸と西海岸間で人工衛星を経由して新聞や週刊誌の記事や画像を送っているが、それらが突然ストップしてしまうと、新聞や雑誌の発行がパニック状態になり、経済への波及効果も大きい。数日で回復するトラブルも多いが、永久に治らない人工衛星の故障も多く報告されている。

##### 4. 2. 宇宙天気とオーロラ

実はオーロラの中には、最高何千アンペアもの大電流が流れている。それだけの電流が流れていると、オーロラから大量のジュール熱が出る。その熱によって大気が膨張し、その膨張大気の塊に人工衛星が突入すると、衛星の軌道が狂い、しまいには下降、消滅してしまう。こうした運命をたどったのが、突入から数カ月後太平洋上に消えた日本の「あすか」という天文衛星であった。

国際伝書バトレースで、4000羽以上の伝書バトが行方不明になったという事件もある。非常に強いオーロラが発生し、オーロラの中を流れている大電流（オーロラジェット電流という）により、地球の磁場が乱れるという現象が発生したのである。磁場変動は、オーロラの付近だけではなく、世界中に及ぶ。つまり、強いオーロラが極地方に現れると、世界中の磁場が狂う。ハトだけではなく、磁場の変化に対して非常に敏感な動物がどんどん最近見つかっている（8を参照のこと）。

発電所や送電線の障害もしばしば発生する。オーロラ電流の誘導電流が送電線に流れ、変圧器にトラブルを起こしてしまう。停電が10時間以上にも及び、損害が何十億円にも達した事件もある。表1は、こうした宇宙天気の影響のまとめである。悪い事象をリストアップしているようであるが、最後に書いてあるのは、「いい」ニュース、つまり、宇宙天気の知識を使って、オーロラの子報ができるということである。

宇宙天気という呼び名がぴったりの理由は、図5からも判る。ここには、オーロラ高度の電位の世界分布が描かれている。この電離層電位の分布というのは、高気圧や低気圧のような地上の気圧配置に似ている。対応してオーロラの中を流れる電流分布も、図5で矢印で示されている。

このような電位／電流分布がもし刻々と計算できれば、宇宙天気子報に非常に役立つ。たとえばスペースシャトルの宇宙遊泳を中止するとか、ときには打ち上げの延期をしても

表1. 宇宙天気予報の例

#### 人工衛星

太陽からの高エネルギーの粒子は、人工衛星内の電子部品に損害を与え、誤信号を送ったり、間違っているデータを地上に送り込んだりする。また、衛星表面に過剰電荷を与え誤操作を引き起こしたり、衛星自体の寿命を短くしたりする。このような被害は、高エネルギー粒子侵入が前もって予測できれば、かなりの割合で防ぐことができる。2003年10-11月の環境観測衛星「みどり2号」、火星へ向っていた「のぞみ」の事故は、このような影響の可能性が高い。

オーロラから発生する熱（最大  $10^{13}$  ワットにも達する）は、大気の膨張をおこし、人工衛星の軌道を狂わせる。「スカイラブ」、「SMM」、「あすか」のように、衛星の落下を招くこともある。スペースシャトルの大気圏突入に際して、この効果を入れた正確な計算を行わなければ、乗組員の生命も危ない。

#### 航行

LORAN や OMEGA など、VLF 帯を使っている船舶の航行システムは、電離層の高度の正確な把握がカギである。磁気嵐のときの電離層の各層の高度の変化は、現在地の計算に何キロメートルものエラーを生じる。

GPS は、クルマの現在地の確認のためなど現代社会／日常生活で欠かせない要素になっている。現在日本では40万台以上のクルマに、GPS システムがとりつけられている。また、将来航空機の離発着にGPSが用いられることが計画されているが、これらの計算にも誤差を生じる。

#### 通信

あらゆる通信は、多かれ少なかれ宇宙の天気の影響を受ける。とくに、オーロラ出現時にHF無線電波は、電離層に吸収されてしまい、地上に戻ってこない。地上局と人工衛星を結ぶ通信も現代では生活に浸透しているが、磁気嵐はテレビ／雑誌／新聞ニュースの配信網を乱してしまう。

#### 宇宙空間での人間活動

人工衛星計器への損害のみではなく、宇宙空間を飛来する高エネルギー粒子／放射線は、スペースシャトル船外での人間の活動にも影響を及ぼす。地上では、ふだん地球の大気と磁場というバリアーにより、私たちの生命がこのような粒子衝突から守られている。

#### 極まわりの航空機

飛行機に乗っていても、高エネルギーの宇宙線を浴びる。とくに高緯度を飛行する路線に何度も乗ると、原子力発電所で働く人の許容年間被曝線量平均1ミリシーベルトを越える可能性もある。

#### 動物・人間の磁場感知能力

伝書バトやイルカが地球の磁場をたよりに行動していることは、よく知られている。国際伝書バトレースは、宇宙天気予報によって開催を決めている。人間への磁場の影響の研究も始まっている。

#### オーロラ長期予報

ガウスが18世紀初め、初めて地球の全磁力を測定して以来、地球の磁力は着実に減っている。このままの率で減少を続ければ、あと1200年で磁力はゼロになるという計算になる。また、あと700年もすれば、日本からも毎晩見事なオーロラが見える計算になるが、生命に危険な高エネルギー粒子が、それだけ直接地上にやってくることになる。

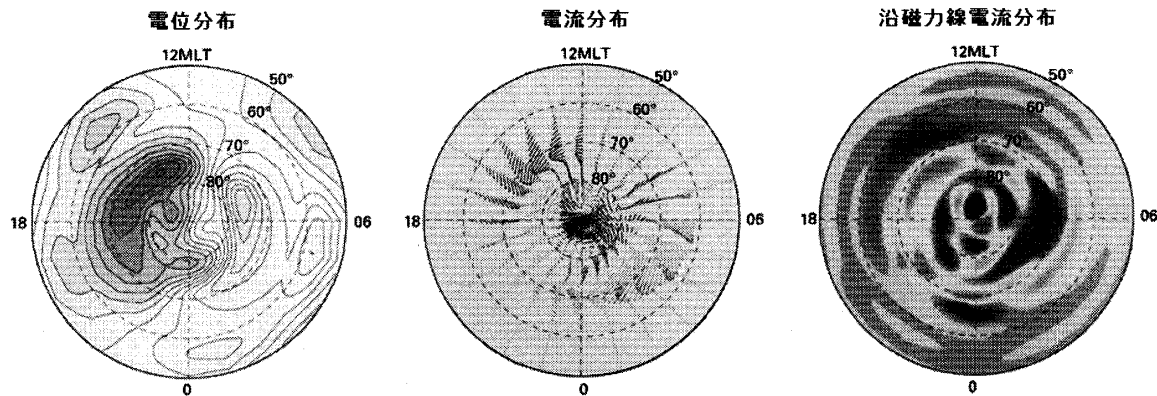


図5 刻々と計算されている、(左から) 電離層レベルでの電位、電流、沿磁力線電流の世界分布。電流の図で、朝方から真夜中へ向って、強い西向きの電流が流れている場所は、明るいオーロラが出現している領域である。午後側の東向きに電流が流れている場所は、薄いオーロラが出ている。電流は、このオーロラが流れている領域（電離層）の中で閉じておらず、宇宙のどこかから供給されていることも分かってきた。右の図では、宇宙から入ってきて、オーロラの中を流れて出ていく電流を表わしている。

らう、さらに人工衛星の計器のスイッチを切るとか、何らかの方法で多額の損害を未然に防ぐことができるはずである。私たちの研究室では、地上での磁場観測データをリアルタイムでできるだけ多く集め、開発したアルゴリズムを使って、電位／電流分布を計算し、世界に発信している (Kamide et al., 2003)。

## 5. オーロラベルトのサイズ

### 5. 1. オーロラベルトの拡大

オーロラがもっとも良く見られる場所は、地球を取り巻いて歪んだベルト状になっており、オーロラオーバル auroral oval（オーロラ楕円帯）と呼ばれている。このオーロラオーバルの大きさは、主として太陽風と地球磁場の圧力のバランスで決る。太陽風が極端に弱い時、オーロラオーバルは地磁気緯度 75 度付近まで縮小するが、フレアなど太陽活動が盛んで、太陽風のスピードや密度が高くなり、巨大磁気嵐が発生すると、オーロラ領域が赤道側に拡大し、北海道からでも地平線付近に赤いオーロラが観測されることがある。ちなみに、今までのオーロラ観測の歴史的な最南記録は、タヒチ、アテネ、シンガポールやインドのムンバイなどで、この時には太陽活動は信じられないくらい高くなっていたと思われる。それに対し、図 6 に例を示すように、フロリダやハワイでは、少し大きめの磁気嵐が発生さえすればオーロラが見られる。現在、地磁気の極がアメリカの方に傾いているためである。また、太陽活動の影響だけではなく、オーロラ嵐の発達／減衰に応じて、オーロラの位置も 10 度以上変動することが分かっている。

### 5. 2. 1000 年後のオーロラベルト

ところで、同じ現象（オーロラオーバルの拡大、低緯度オーロラの観測）は、太陽活動が高くならなくても、地球の磁力が弱まれば起き得る。図 7 に示すように、ガウスが初め





図6 2000年7月16日の大磁気嵐のときのオーロラ分布 (NASA 提供)。7月14日に始まったこの磁気嵐は、16日の0時頃 (グリニッジ時) にピークに達し、オーロラはフロリダにまで達している。

て地球の双極子磁場の強度 (モーメント) を測定して以来、地球の磁力は徐々に減少しつつある。実は、それよりずっと前、2000年ほど前から、地磁気は徐々に弱まってきていることが、岩石に残された磁気の研究で推定されている。とくに、近代的な精密観測が行われるようになったこの100年あまりだけでも、すでに地磁気の強度は7%も減少している。このままのペースで減り続けると、あと1200年後には地球の磁場はゼロになってしまう計算になる。

しかし、このような予測はあまり意味がない。というのは、わずか100年か200年のデ

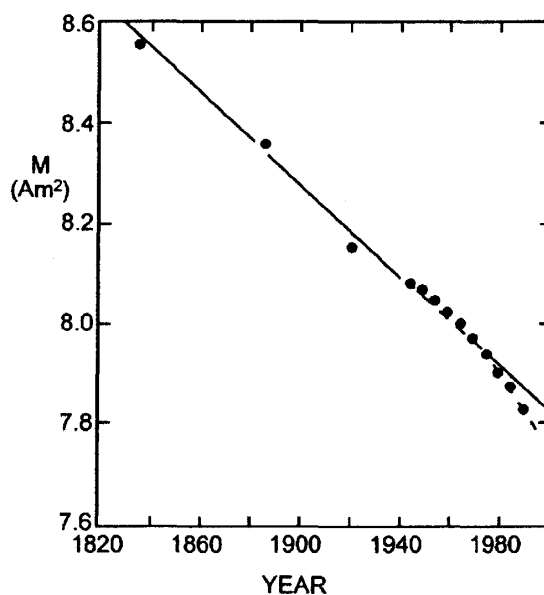


図7 地球磁場の強度 (磁気モーメント  $M$  で表わす) がこの200年間着実に減少していることを示す図。

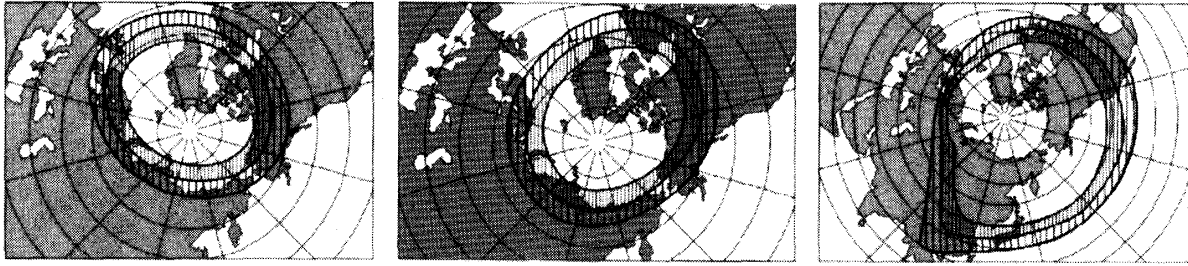


図8 300年前（左）、現在（中央）、1000年後（右）、オーロラが最も良く見える場所。小口（1993）による。

ータを使って、今後 1200 年のことを推測するのは、科学的に不謹慎であるし、過去 1 万年くらいの間に繰返されてきた地磁気増減のほんの一部に過ぎないと考えの方が妥当であるからである。

地球の磁場は完全な双極子ではなく、また磁極が移動する。地球の歴史上、磁極の反転があったことも知られている。反転のメカニズムはよく分かっていないが、反転のときには、磁場の強度（少なくとも、双極子成分）が弱まっていたと想像される。このような、双極子磁場強度の減少、極の移動、もっと局所的な磁場変動を考慮に入れ、オーロラが最もよく見える場所についてのモデルを作ってみることができる。図8に示した3枚は、こうしてモデル化した、300年前、現在、そして1000年後のオーロラベルトの位置（オーロラがもっとも良く見える場所）である（Oguti, 1993）。この図によると、300年前にはオーロラベルトがヨーロッパに傾いていたことが再現され、17世紀くらいからオーロラ科学がイギリスやフランスで盛んになったことと矛盾しない。もしこの推定を1000年後まで延長することができるなら（もし、今までの傾向がこのまま続くなら）、そのころにはオーロラベルトの中心が日本にまで降りてくることになり興味深い。

しかし、毎晩オーロラが見られると喜んでばかりはいられない。通信障害やオーロラ電流の誘導による電力系のトラブルなど、宇宙天気の影響が顕著になる。また、太陽風の圧力を地球の磁場が支えていることができなくなり、太陽風が直接高層大気に吹き付けることにもなり、大気成分が変わってしまうか、月や水星のようにしっかりとした大気をもたない星になってしまう。

## 6. 他の惑星でのオーロラ

前章で見てきたように、オーロラは、地球の持つ磁場と大気による産物である。太陽からやってきた太陽風プラズマが地球の磁気圏に入り込み、何らかのきっかけで、地球の大気と衝突して光るのがオーロラというわけである。では、他の惑星では、オーロラは見られないのであろうか。

答は、その惑星が固有磁場と大気を持っていれば「イエス」である。図9は、ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した土星のオーロラ写真であり、地球の場合と同じように、北極と南極を囲んでオーロラベルトが写っているのが分かる。表2には、各惑星でのオーロラあり／なしを示している。水星は、磁場を持っているが、大気がない。火星は逆に、大気を持っているが、磁場がない。両者にオーロラは見られない。

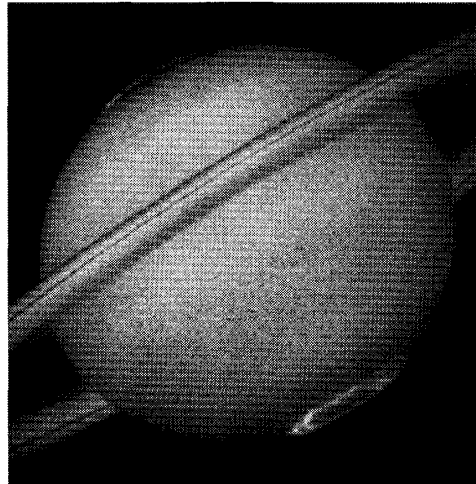


図9 ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した土星のオーロラ (NASA 提供)。

	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
磁場	○	△	○	×	○	○	○	○
大気	×	○	○	○	○	○	○	○
オーロラ	×	△	○	×	○	○	○	○
○: あり ×: ないか非常に弱い △: よく分らない								

表2 固有磁場と大気を持っている惑星 (○で表わす) と持っていない惑星 (×で表わす)。オーロラの存在は、両者が○の場合○になる。

## 7. 太陽活動と地球大気環境

太陽活動 (黒点数で表わす) と地球上の温度や海水温度には統計的に関係があることが、多くの研究者によって示されてきた。図 10、11 はその歴史的な代表例である (Adapted from King, 1974; Friis-Christensen and Lassen, 1991)。太陽黒点は、太陽の電磁気/プラズマ量であるが、それが遠く離れた地球の中性大気の温度に影響を及ぼすことの物理的解釈は、そう簡単ではない。大気科学の研究者の中には、図のような統計そのものを否定する人もいる。

図 12 は、太陽からの全熱量、すなわち太陽定数 total solar irradiance ( $\text{W/m}^2$ ) を 3 つの人工衛星で測定したものである (Adapted from Hoyt et al., 1992)。太陽黒点数が最大で

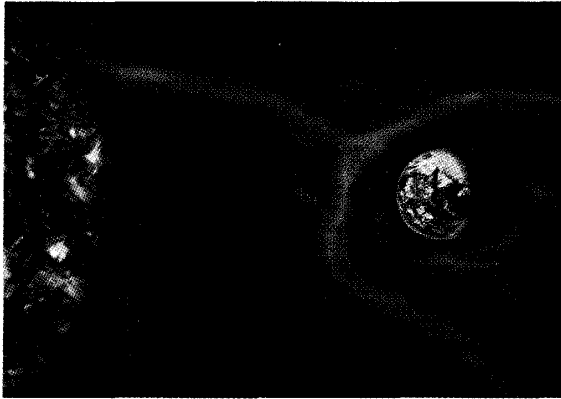


図1 地球は太陽大気の中にある (IAGA提供)。地球が大気と磁場を持っているため、地球圏が太陽風プラズマの直撃を受けていることに、私たちはふだん気がついていない。この大気と磁場があるから、地球にはオーロラが出現する。

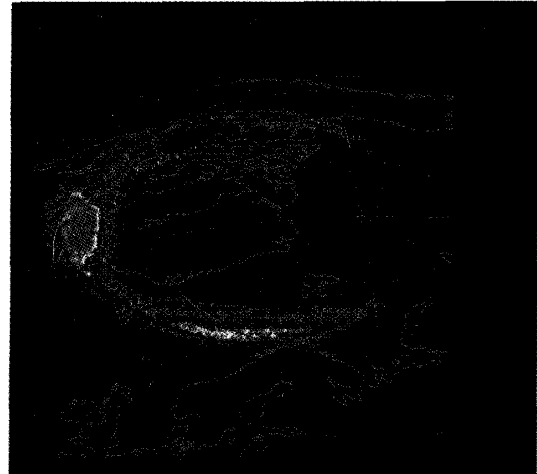


図2 NASAの人工衛星Polarが捉えた、オーロラ・ブレイクアップ（グリーンランド南端付近で発生）の瞬間。

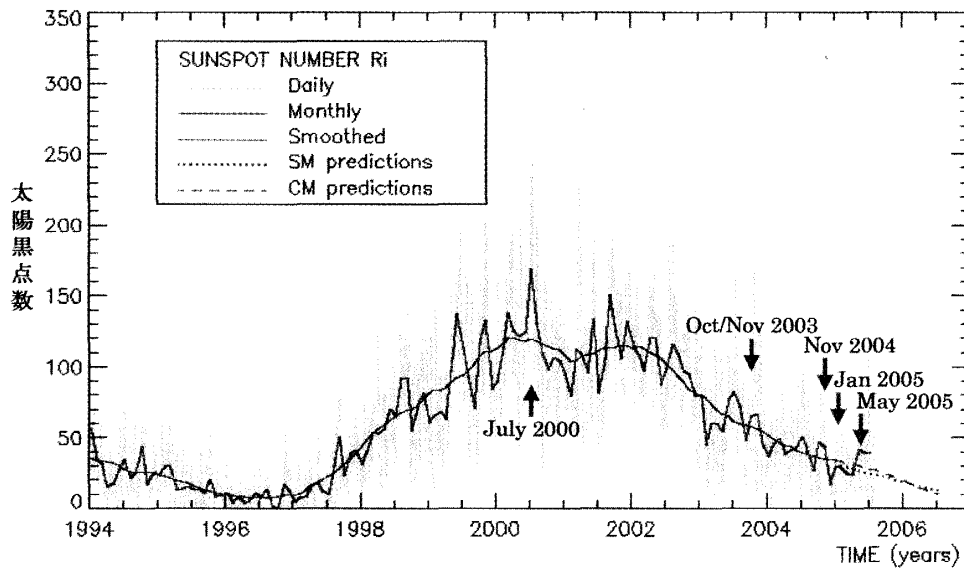


図 4b 太陽活動（黒点数で表わす）と主な磁気嵐。http://sidc.oma.be による。

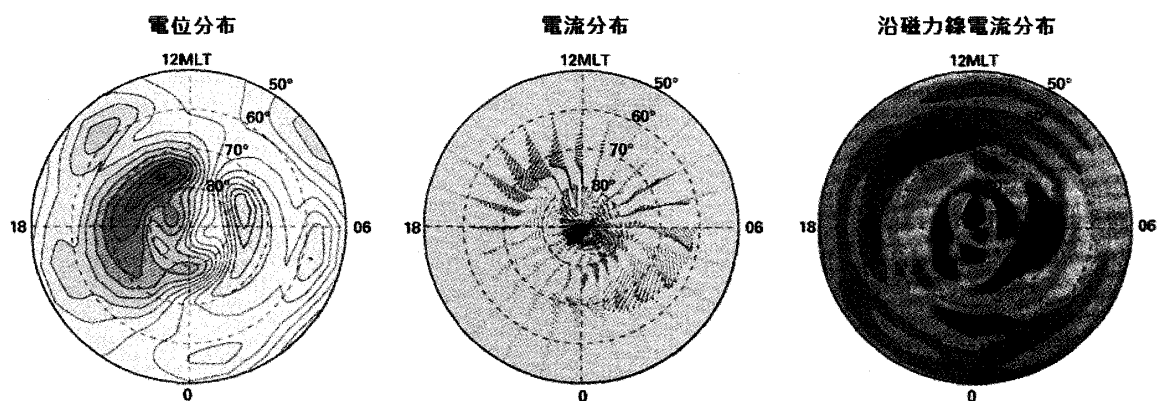


図5 刻々と計算されている、(左から)電離層レベルでの電位、電流、沿磁力線電流の世界分布。電流の図で、朝方から真夜中へ向って、強い西向きの電流が流れている場所は、明るいオーロラが出現している領域である。午後側の東向きに電流が流れている場所は、薄いオーロラが出ている。電流は、このオーロラの流れている領域（電離層）の中で閉じておらず、宇宙のどこかから供給されていることも分かってきた。右の図では、宇宙から入ってきて、オーロラの中を流れて出ていく電流を表わしている。



図6 2000年7月16日の大磁気嵐のときのオーロラ分布 (NASA 提供)。7月14日に始まったこの磁気嵐は、16日の0時頃（グリニッジ時）にピークに達し、オーロラはフロリダにまで達している。

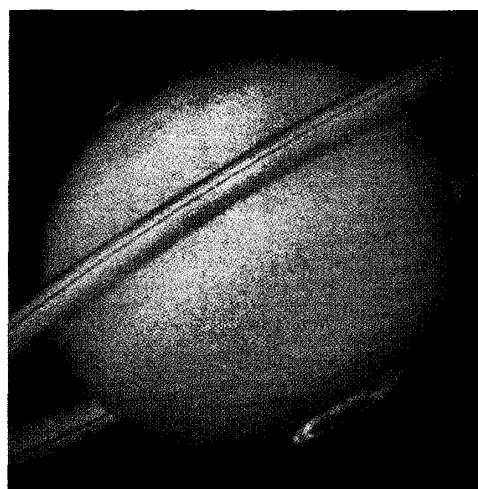


図9 ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した土星のオーロラ (NASA 提供)。

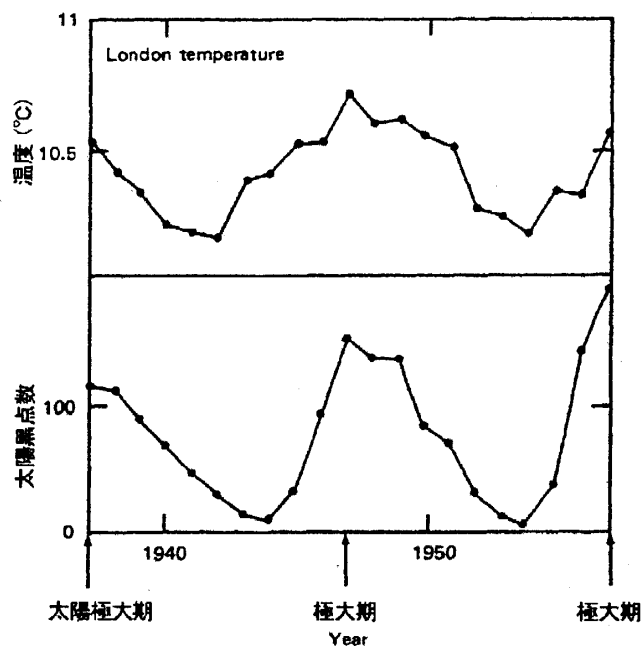


図10 ロンドンの平均気温（5年フィルターをかけてある）と太陽黒点数。Adapted from King (1974).

あった1979-80年と1990-92年に太陽定数も最大で、黒点数が最小であった1987年には太陽定数も、どの衛星の観測においても最小であった。衛星によって絶対値が異なるのは、キャリブレーションの問題であり、各衛星観測の増減相対値は正しい。この図の語る重要な点は、太陽定数が実は定数ではなく、11年周期で変動しているというわけである。ただ、

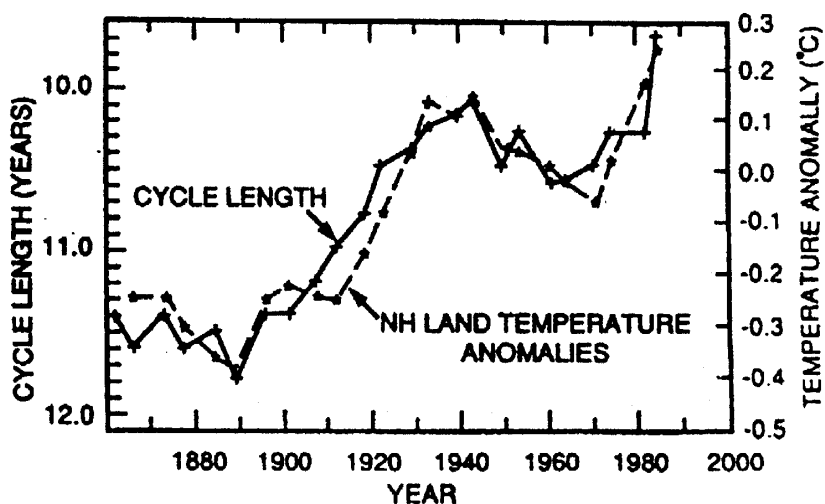


図11 太陽活動周期の長さ（太陽活動の振幅と相関があることが認められている）と北半球での気温異常。Friis-Christensen and Lassen (1991).

## Solar Irradiance from Three Satellites

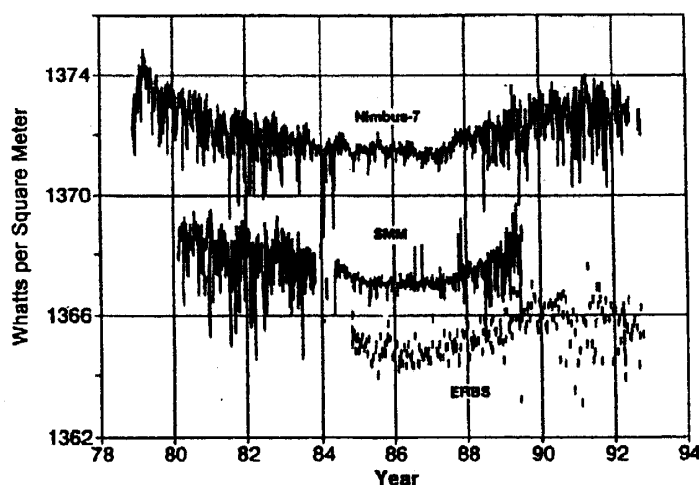


図 12 3つの人工衛星（上から、Nimbus-7, SMM, ERBS 衛星の順）で測定した太陽定数の日変動。日々の大きな上がり／下がり黒点の影響によるもので、全体としてのゆっくりした変動が太陽周期によるもの。Adapted from Hoyt et al. (1992).

変動幅がわずか 0.1% 程度であり（日変化では 0.5%、月変化では 0.25% 程度）、この変動値だけで、温暖化とか寒冷化といった地球全体の気温変動を説明することはできない。何か非線形的作用が働いているか、他の波長（たとえば、紫外線領域での太陽活動周期変動幅は大きい）での変動が超高層大気での変動を通して地上気温に影響していることは十分考えられる。

#### 8. 地球磁場を使っている動物

4. 2 で触れたように、ハトは地球磁場変動の影響を受けることが認められている。では、他の動物はどうか。動物の地球スケールでの移動には、帰巢性（たとえば、伝書バトなど）、移動性（渡り鳥など）、航行性（回遊魚など）の 3 種類が考えられる。表 3 には、これらの移動、運動に地球磁場を使っていることが調べられている動物を順不同で示す。また、実験の数は少なく、確認が難しいが、枝根の発生や細胞の生長に磁力が有効に働いていることが研究されている植物も、リストされている。

動物の中には、天災を予知したり、暗い場所でも自由に飛び回ることができたり、人間にとっては超能力と呼んでもいいような感覚器官の感度が高いものがある。動物（ナマズ、ウサギ、ヘビ、ネズミ、ウマなど）の地震予知能力や火山噴火の予知は、古くはギリシャ時代から経験として報告が残っているが、このうち動物が超音波や磁場を感知することによって説明がされてきたものも少なくない。たとえば、地震の前に岩石に圧力がかかり、圧電効果によって微小電流が発生し、その磁場を感知するといわれている。

最も単純な生物である細菌には、光に敏感に反応する種類がある一方、磁場の極性に反応するものもある。泥の中に棲息している走磁性細菌と呼ばれている種類で、地球磁場と同程度の強さの逆磁場をかけるとただちに U ターンをすることが多くの実験で確認されている。これらの走磁性細菌は、顕微鏡で内部構造が調べられ、磁鉄鉱が一行に並んでいる

走磁性細菌
伝書バト
渡り鳥
ミツバチ
虫(ショウジョウバエ、昆虫、カブト虫、ゾウリムシ、カタツムリ)
魚類(ナイフフィッシュ、エイ、ウナギ、ナマズ)
サメ、エイ、イルカ、クジラ
哺乳類(ウサギ、ネズミ、リスザル)
ヒト(大塚教授の稿を参照)
植物
麦、キュウリ、エンドウ、メロン、ビート、エゾマツ、モミ
タンポポ、トマト、タマネギ、シソ...

表3 地球磁場を使っていることが研究されている動植物。

のが見つかっている。また、この性質は、北半球と南半球の細菌では逆の磁場極性に反応し、それぞれ泥の中へ向って移動する性質があることになる。

イルカやクジラも、磁場を使って航行していることが知られている。またこれらの「集団座礁」もときどき報道されている。どのような条件で、「座礁」(生きたまま陸へ上がり、動けなくなること)が起きるのであろうか。図13は、ケンブリッジ大学でのこうした

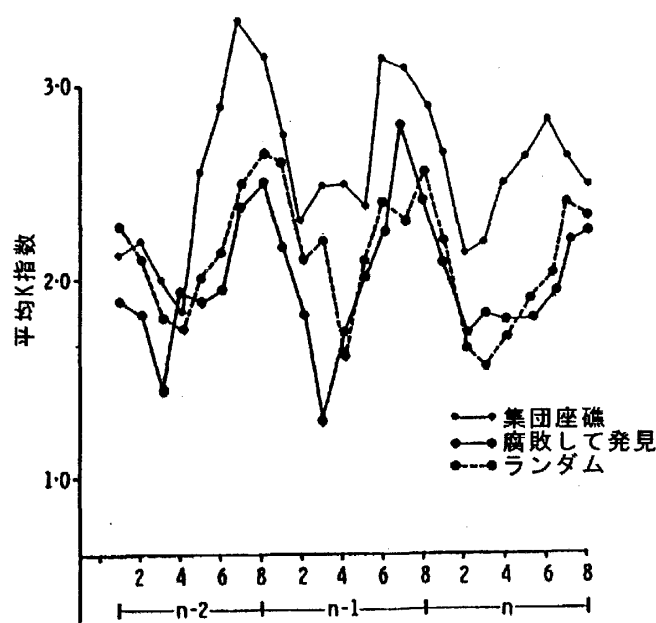


図13 イルカの集団座礁と地磁気活動度(K指数で表わす)。座礁が発生した日をn日として、その2日前からについて示し、それぞれの日のグラフの上下は磁場の日変化を表わしている(真夜中付近で高い)。K指数は1日を3時間ごとに8区間に分けている。すなわち、横軸の2, 4, 6, 8は、それぞれグリニッジ時で、6, 12, 18, 24時のことである。Klinowska (1988) による。





図14 人間の磁場感知能力をテストする実験の1風景。Baker (1989) による。

研究の1例である (Klinowska, 1988)。イギリス北部 (南部ではこの減少は稀である) で、座礁が起きた日を  $n$  日として、その2日前まで (計3日) の地磁気活動度の平均を示したものである。グラフは、「生きたまま座礁が発見されたケース」、「腐敗して座礁したケース (したがって、いつ座礁が発生したか不明)」、「ランダム例」の3つに分かれているが、明らかに座礁が起きる日の前から数日間は磁気活動度が高くなっていることが統計的に示されている。

さて人間は磁場を感じるのだろうか。この命題に挑戦したのは、マンチェスター大学の R. R. Baker のグループである (Baker, 1980, 1989)。実験では、学生に目隠しをしてバ

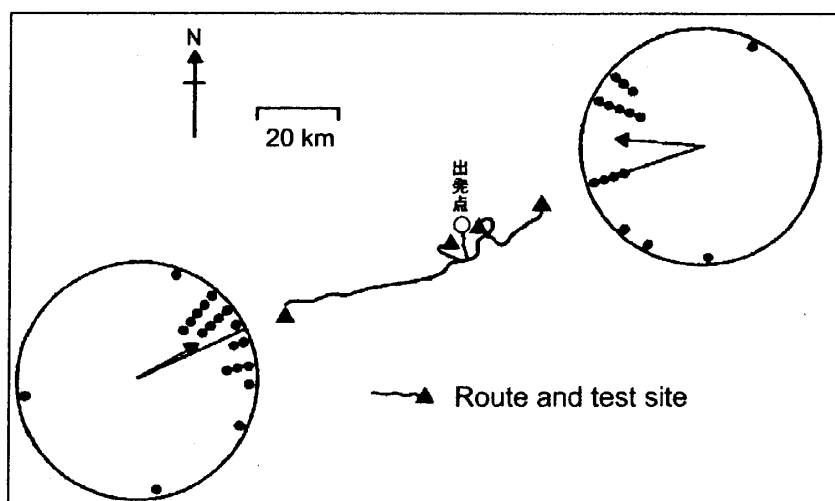


図15 人間の磁場感知能力をテストする実験の結果の1例。点は1人の回答方向、矢印はそれらの平均を示す。Baker (1980) による。

スに乗せ、田舎道をくねくね曲がって走り、数10キロ離れた場所で降ろし、大学の方角を答えさせると言う簡単なもの。同じバスには、目隠しをしない1団も乗せて、同様のテストを行った(図14は、実験の1風景である)。図15に実験結果の1例を示すが、驚くべきことに、目隠しをしたグループの方が、方向を当てることができる確率が高いことが分かる。実験はさらに、学生の頭部にヘルムホルツコイルを乗せ人工磁場を発生させたりして複雑化させ、統計の信頼性を高めている。

## 9. おわりに

宇宙は、人間にとって危険なところである。これは当たり前のことで、人間は「危ないところ」に出現し、進化してきた結果、現在のように“平和に”暮らしているからである。地球上からほんの一步出ただけで、わずか100キロメートル上に行くだけで、そこはもう宇宙である。オーロラは、太陽からのエネルギーのほんのわずかが、ほとんど偶然に近い過程を経て宇宙と地球のちょうど境界に引き起す光の舞いであり、宇宙から地球人へ送られているメッセージであるといえる。

オーロラは、太陽地球システムの中で発生している一電磁気現象にすぎず、地球と宇宙のちょうど境目で発生する。それは偶然のことではなく、オーロラの発生には、宇宙であること(太陽からのプラズマの流れ)と地球であること(地球の高層大気に衝突すること)が必要であるからである。さらに、地球が磁場を持っていることがオーロラの発生に重要な働きをしている。大気と磁場は、オーロラ発生の必要条件であるばかりではなく、宇宙に飛び交う高エネルギーの宇宙線から生命と遺伝子を護り、この2要素は地球上に生命が宿る条件でもあることになる。すなわち、オーロラがこの惑星(ほし)にあることは、生命がここに存在できる証であるともいえる。私たち生命は、この磁場のもとに生まれ、進化してきたわけだから、動植物が気づかないうちに生きるために地球の磁場を使っていることはごく自然なことであるといえる(Kamide, 2001)。

人間は、知的好奇心から地球のことを知ると同時に、生活を便利にする道具を次々とつくってきた。地上の生命のうち、“与えられた”地球の環境を変えることができる能力を持つに至ったのは人間だけである。こうして変ってしまった環境の中で、今後も人間が生き続けていくことができるかどうか疑問である。しかし、人間がこの地上からいなくなっても、地球は今まで通りふつうに回り続けることだけは確かである。

本稿ではまた、宇宙の状態が、つまり宇宙の天気が、社会/経済や私たち生命にまで深刻な影響を与えていることも示した。こうした影響を未然に防いだり、被害を最小にするためには、宇宙の天気を予報することが、今日の技術社会の課題である。しかし、しっかりした予報をするためには、太陽-地球間の宇宙空間で起きていることの基本的物理過程を正しく理解しなければならない。雲がどのようにしてできるかを知らないで、正しい天気予報ができないのと同じことである。正直なところ、私たちは現在、太陽-地球間の現象(その中の一つがオーロラである)の定量的理解にまだまだ遠い。人工衛星/地上観測と、理論/コンピューターシミュレーションを駆使し、世界中の共同作業として、研究を進めている。

参考文献

- Baker, R. R., A sense of magnetism, *New Scientist*, 87, 844, 1980.
- Baker, R. R., *Human Navigation and Magnetoreception*, Manchester University Press, 306 pp, 1989.
- Cliver, E. W., V. Boriakoff, and K. H. Bounar, The 22-yr cycle of geomagnetic and solar wind activity, *J. Geophys. Res.*, 101, 27091, 1996.
- Friis-Christensen, E., and K. Lassen, Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate, *Science*, 254, 698, 1992.
- Hoyt, D., H. L. Kyle, J. R. Hickey, and R. H. Maschhoff, The Nimbus-7 solar total irradiance: A new algorithm for its derivation, *J. Geophys. Res.*, 97, 51, 1992.
- 上出洋介「オーロラ太陽からのメッセージ」山と溪谷社、1999.
- Kamide, Y., Geomagnetic storms as a dominant component of space weather: Classic picture and recent issues, in *Space Storms and Space Weather Hazards*, edited by I. A. Daglis, 43, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001.
- Kamide, Y., Our life is protected by the Earth's atmosphere and magnetic field: What aurora research tells us, *Biomedic. Pharmacotherapy*, 55, 21, 2001.
- Kamide, Y., E. A. Kihn, A.J. Ridley, E. W. Cliver, and Y. Kadowaki, Real-time specifications of the geospace environment, *Space Sci. Rev.*, 107, 307, 2003.
- King, J. W., Weather and the earth's magnetic field, *Nature*, 247, 131, 1974.
- Klinowska, W., Cetacean 'navigation' and the geomagnetic field, *J. Navigation*, 41, 52, 1988.
- Oguti, T., Prediction of the location and form of the auroral zone: Wandering of the auroral zone out of high latitudes, *J. Geophys. Res.*, 98, 11649, 1993.

著者

上出洋介 (かみでようすけ)

<http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/member/kamide.html>